

А. И. Лещенко, канд. техн. наук, Мариуполь, Украина

## **ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ЕЕ ТОПОЛОГИЕЙ**

*Метою проведених досліджень є створення системи асоціативних зв'язків між топологічними характеристиками оброблюваної поверхні і граничними значеннями кінематичних параметрів різання, при визначеній траєкторії переміщення інструмента. Для реалізації цілей дослідження розглянута формалізація кінематичних параметрів процесу різання залежно від топології складно - профільної поверхні.*

*Целью проводимых исследований является создание системы ассоциативных связей между топологическими характеристиками обрабатываемой поверхности и предельными значениями кинематических параметров резания, при выбранной траектории перемещения инструмента. Для реализации целей исследования рассмотрена формализация кинематических параметров процесса резания в зависимости от топологии сложно – профильной поверхности.*

*The purpose of the conducted researches is creation of the system of associative connections between topology descriptions of the processed surface and maximum values kinematics cutting parameters, at the chosen trajectory of moving of instrument. For realization of research aims formalization of kinematics parameters of cutting process is considered depending on a topology difficultly - to the type surface.*

В настоящее время в машиностроении широко используются детали, содержащие сложно-профильные поверхности: матрицы и пуансоны штампов, пресс-формы, модели для точного литья, лопатки турбин и пр. Переход многих предприятий машиностроения на серийное или мелкосерийное производство, связанный с конъюнктурными законами рынка, обуславливает возрастающую потребность в деталях этой номенклатуры. Современным направлением в технологии обработки сложно-профильных поверхностей является фрезерование концевыми сферическими фрезами на станках с ЧПУ, имеющих от трех до пяти одновременно управляемых координат.

К сложно-профильным поверхностям можно отнести те поверхности, в точках которых искривленность поверхности характеризует индикатриса кривизны  $1/R$  - плоская кривая не ниже второго порядка, отличная от окружности.

Если не учитывать возмущающие воздействия процесса резания, то обработка сложно - профильных поверхностей фактически сводится к замене локальных участков требуемой поверхности цилиндрическими поверхностями, полученными методом копирования радиусной части концевой фрезы. При обработке фрезами малого диаметра (например, фрезы производства «KENNAMETAL»), когда радиусы кривизны поверхности значительно боль-

ше радиуса фрезы, можно в меньшей степени учитывать влияние локальной геометрии участков сложно-профильной поверхности, на точность формообразования. Однако в этом случае снижается производительность обработки, возрастает нагрузка на зубья фрезы, повышается ее износ. Кроме этого для достижения оптимальной скорости резания необходимы станки с частотой вращения шпинделя до 30000 об/мин, а для обеспечения заданной высоты «оребрения» (максимально допустимой высоты гребешка, остающегося на обрабатываемой поверхности между соседними проходами) необходимо большее число проходов. В настоящее время на мировом рынке предлагается большое количество САМ систем для автоматизации разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Для большинства из них исходными данными является твердотельная модель детали, материал заготовки и в диалоговом режиме, предлагаемый пользователю выбор режущего инструмента. В ряде САМ систем менеджер стратегий (Strategy Manager) генерирует расчетную траекторию обработки фрезой данного диаметра конструктивных элементов детали, при этом фактически вместе с прогнозируемой высотой «оребрения» проверяется только условие отсутствия «зарезов» (gouging) и не учитывается непрерывное изменение геометрических параметров процесса формообразования. Следовательно, для анализа кинематических параметров процесса резания на различных участках обработки сложно – профильной поверхности, возникает необходимость в конструировании пользовательских приложений на языках высокого уровня.

Целью проводимых исследований является создание системы ассоциативных связей между топологическими характеристиками обрабатываемой поверхности и предельными значениями кинематических параметрами резания, при выбранной траектории перемещения инструмента.

Для реализации целей исследования необходима строгая формализация кинематических параметров процесса резания, связанная с топологией сложно – профильной поверхности. При этом основой проектирования чистовой обработки является собственно уравнение сложно – профильной поверхности, а также геометрия фрезы, требования к точности, шероховатости поверхности и как следствие, значение подачи.

Рассмотрим характер изменения параметров чистовой обработки концевой радиусной фрезой, с незначительным изменением радиальной глубины резания  $t$  (при изменяющейся осевой глубине резания), для которой критичной зоной режущей кромки является центр фрезы, где скорость резания близка к нулю (рис. 1). Для обеспечения предельно минимального значения скорости резания с частотой вращения фрезы  $n$ , обработка производится с наклоном оси фрезы  $O$  на угол  $\omega$  относительно оси  $Z$  координатной системы инструмента  $XYZ$ , связанной с центром фрезы, а по направлению осей - с координатной системой детали. Обработка с углом наклона оси шпинделя, в направлении перпендикулярном траектории фрезерования с подачей  $F$ , из-

меняет положение зоны активной части режущей кромки, но при обработке сферическими фрезами применяется редко.

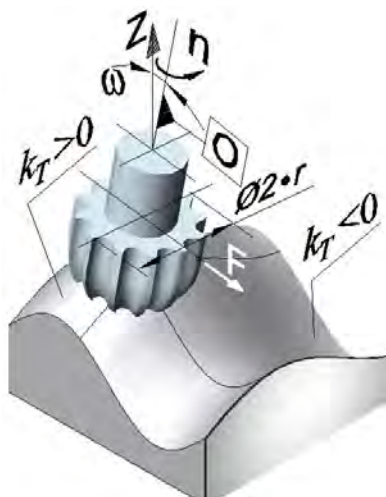


Рисунок 1 – Схема фрезерования сложно – профильной поверхности

В компьютерной графике поверхности аппроксимируются полигональной «сеткой», которую математически можно представить, как совокупность линий, расположение которых в пространстве подчинено уравнениям определенного типа. Известное условие формообразования - касание сферической части фрезы и теоретического профиля поверхности обуславливает направление вектора контурной подачи  $F$ , обеспечивающего эквидистантное перемещение центра фрезы. Особый интерес, с точки зрения обработки, представляют геодезические линии, направление которых в каждой точке совпадает с направлением кривой, образованной пересечением поверхности с плоскостью нормали. Сте-

пень искривленности регулярных поверхностей (дважды дифференцируемых на всем интервале) имеет универсальную характеристику – гауссову кривизну  $k_T = k_S^{\max} \cdot k_F^{\min}$ , устанавливающую связь между главными кривизнами нормальных сечений (максимальной  $k_S^{\max}$  и минимальной  $k_T^{\min}$ ) во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Теория поверхностей классифицирует точки сложно – профильной поверхности в зависимости от знака гауссовой кривизны:

$k_T(x_i, y_i) > 0$  - геометрически это означает, что в эллиптической точке  $(x_i, y_i)$  все нормальные сечения имеют одно и то же направление вогнутости (радиусы кривизны одного знака), а в ее окрестности поверхность имеет сходство с эллипсоидом;

$k_T(x_i, y_i) < 0$  - геометрически это означает, что в точке гиперболического типа  $(x_i, y_i)$  нормальные сечения имеют различные направления вогнутости (радиусы кривизны разного знака), а в ее окрестности поверхность имеет седлообразный вид;

$k_T(x_i, y_i) = 0$  - в данном случае имеется одно направление, по которому нормальная кривизна равна нулю, а по остальным направлениям кривизна

имеет один и тот же знак. Примером такой поверхности являются точки кругового цилиндра.

Согласно теории поверхностей / 1 / в данных плоскостях можно построить соприкасающиеся окружности  $R_F = 1/k_F^{\max}$   $R_S = 1/k_S^{\min}$ , радиусы которых, по выделенным направлениям, будут равны радиусам кривизны поверхности в данной точке. Анализ значений кривизны позволяет установить взаимосвязь кривизны с точностью обработки / 2 / и исключить из траектории перемещения фрезы радиуса  $r$  участки поверхности, для которых  $R_F < r$ ,  $R_S < r$ .

Можно допустить, что при фрезеровании сферическими фрезами, заданная сложно-профильная поверхность, фактически аппроксимируется «ленточными» цилиндрическими поверхностями эллиптического типа с гауссовой кривизной  $k_T > 0$  или поверхностями для которых  $k_T = 0$ . Если при обработке вектор подачи  $F$ , изменяясь по направлению, остается в плоскости  $YZ$ , т. е. траектория перемещения инструмента подчинена уравнению  $Z(y)$ , то уравнение поверхности, формируемой на проходе, имеет вид:

$$P(x, y, z) = x^2 + (y - Z(y))^2 - r^2, \quad (1)$$

где предельные значения  $x$ , как и угол профиля активной части режущей кромки (рис. 2)  $\varphi_S(x)$ , изменяются в каждом сечении, в направлении перпендикулярном вектору подачи, в зависимости от кривизны поверхности  $R_S$ .

Возникает задача определения меры приближения поверхности, аппроксимируемой инструментальной поверхностью фрезы радиуса  $r$  и теоретически заданной поверхности.

В дифференциальной геометрии / 1 / введено понятие квадратичного приближения формы поверхности в окрестности исследуемой точки - так называемого соприкасающегося параболоида, для которого первые и вторые производные координат в данной точке одинаковы у поверхности и ее соприкасающегося параболоида в этой точке. В каждом конкретном случае он может оказаться гиперболическим или эллиптическим параболоидом, а также не исключено его вырождение в параболический цилиндр или для точек уплощения, в плоскость.

Согласно требованиям закона формообразования цилиндрическая поверхность (1) и заданная, имеют касание, т. е. общую нормаль. Тогда степень приближения смоделированной цилиндрической поверхности и поверхности теоретического профиля можно оценить путем сравнения вторых квадратичных форм данных поверхностей, которые являются мерой того, насколько поверхность уклоняется в окрестности точки нормали от касательной плоскости, т. е. мерой искривленности поверхности.

Область зоны резания (рис. 2), сформированную твердотельной моделью поверхности и сферой радиуса  $r$ , ее ограничивает сферическая поверхность фрезы и плоскость нормали  $\eta$ .

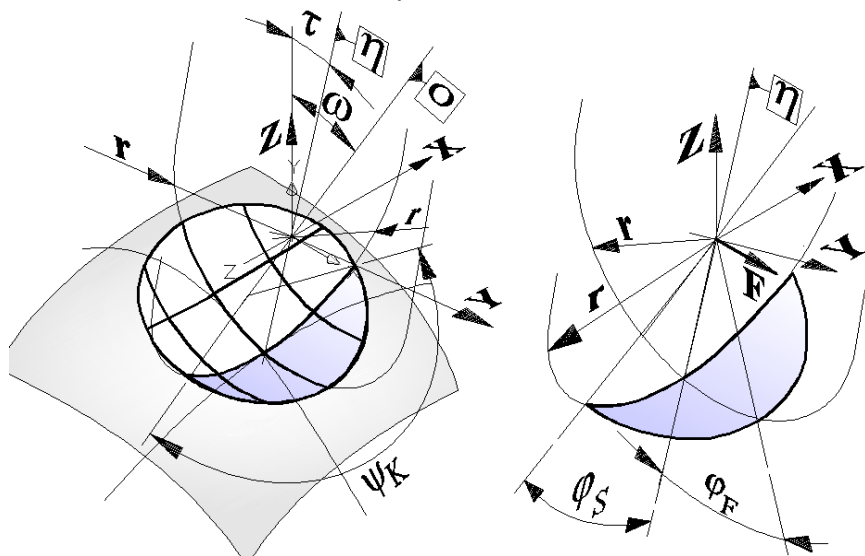


Рисунок 2 – Геометрическое представление зоны резания при обработке сложно – профильных поверхностей

Важнейшей характеристикой процесса фрезерования является угол контакта  $\psi_K$ , который измеряется в плоскости перпендикулярной к оси фрезы  $O$  в направлении вектора подачи  $F$ . Угол контакта  $\psi_K$  определяет длину дуги перемещения зуба фрезы в металле заготовки за каждый ее оборот и «стягивает» хорду, равную ширине фрезерования, изменяющегося в процессе обработки. В ряде случаев характеристикой процесса резания может быть нормируемый коэффициент перекрытия, равный отношению ширины фрезерования к номинальному диаметру фрезы.

Значение вектора контурной подачи изменяется вдоль угла профиля активной части режущей кромки  $\phi_F$ ,  $\phi_S$  величина которого зависит от глубины резания  $t$ , радиуса фрезы  $r$  и радиуса кривизны поверхности  $R_S$ , а также ее выпуклости или вогнутости в текущей точке / 2 / , / 3 /.

На различных участках обработки сложно-профильной поверхности изменяется толщина срезаемого слоя по периметру дуги угла контакта, в зависимости от положения сечения эффективного диаметра фрезы по отношению

к оси вращения фрезы и направлению вектора контурной подачи. Поэтому при подготовке фрезерной операции необходимо учитывать, переменную скорость резания в каждой точке режущей кромки, что связано с изменением эффективного диаметра, под которым следует понимать наибольшее удвоенное расстояние от оси вращения фрезы  $O$  до точки режущей кромки зуба фрезы в процессе обработки.

Перечисленные выше параметры неразрывно связаны с режимными параметрами процесса фрезерования. Следовательно, достижение требуемой точности и шероховатости обработки сложно - профильных поверхностей имеет тесную взаимосвязь с анализом ее топологических характеристик, базирующихся на общей теории поверхностей. Например, свойства нормальных сечений в точках геодезических линий на поверхности обуславливают их приоритетность в определении траектории перемещения инструмента. Кроме этого кратчайшее расстояние между двумя точками на поверхности измеряется по геодезической линии, что уменьшает длину траектории обработки в случае выбора этой кривой.

Поэтому при построении технологии обработки поверхностей данного типа возникает необходимость в создании «концептуального шаблона», который может быть принят за основу в параметрическом дереве построения управляющей программы для УЧПУ станка. Вследствие этого на сегодняшний день актуальной является задача аналитической взаимосвязи кинематических параметров инструмента и геометрии обрабатываемой поверхности. Решение такой задачи в перспективе открывает возможность создания механизма управления ассоциативной связью, который должен обеспечить возможность объединения концептуального и локального проектирования технологии обработки сложно – профильной поверхности. Такой подход соответствует объектно-ориентированной среде программирования, в которой основной акцент сделан на необходимость создания «классов» соответствующих состоянию технологической системы при обработке поверхностей имеющих общий признак.

Практический результат проведенных исследований позволяет автоматически получать требуемые параметры поверхностей при обработке на предварительно настроенных станках.

**Список использованных источников:** 1. Математика, ее содержание, методы и значения. т. №2 / Ред. А. Д. Александрова и др. – Изд-во АН СССР, - 1956. – 393 с. 2. *Леценко А. И.* Точность обработки сложно-профильных поверхностей в зависимости от кривизны ее различных участков / Наукові праці ДонНТУ. Серія «Машинобудування і машинознавство». Донецьк: 2012. - Вип. 3(154). – С. 107-117. . 3. *Леценко А. И.* Обеспечение параметров точности и шероховатости формообразующих поверхностей валков сортового проката при обработке на станках с ЧПУ. / *А. И. Леценко* // Автореферат дисс. канд. тех. наук. – Мариуполь: ПГТУ, 2011.

*Статья поступила 15.05.2012*